©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Untersuchungen auf rekultivierten Halden im Raum Leoben/Donawitz*)

Von WOLFGANG PUNZ, ROSEMARIE SCHINNINGER, EDUARD DOMSCHITZ, IRMGARD HOF und GERHARD TEUSCHL

Mit 7 Abbildungen und 2 Tabellen

(Vorgelegt in der Sitzung der mathem.-naturw. Klasse am 12. Oktober 1984 durch das w. M. KARL BURIAN)

I. Einleitung

Die Rekultivierung der Halden von Bergbau- und Hüttenbetrieben ist meist mit großen Aufwendungen verbunden. Die Gründe dafür sind vielfältig: Der „Boden" ist häufig unstrukturiert; der Humusgehalt ist gering; das Schüttmaterial weist oft hohe Schwermetallkonzentrationen auf; die Festigkeit des aufgeschütteten Materials ist in der Regel gering sowie in erhöhtem Maße durch Winderosion bedroht. Andererseits herrschen auf Halden im allgemeinen extreme Klimabedingungen und Bodentrockenheit. Die Nachbarschaft von Industriebetrieben und die daraus resultierende Immissionssituation stellt häufig einen weiteren Streßfaktor für die Vegetation auf Halden dar (EMSCHERBRUCH, 1975; JOHNSON et al., 1977; UHLMANN, 1977; BARNER, 1978; BRADSHAW & CHADWICK, 1980; SCHLÜTER, 1980; MAIER et al., 1981; JOCHIMSEN, 1982; SCHMEISKY, 1982; LARSON & VIMMERSTEDT, 1983).

Beschreibung des Standorts

Die Abfallprodukte aus der Hütte Donawitz werden im Norden von Leoben (Steiermark) verhaldet. Diese bestehen hauptsächlich aus Stahlwerks- und Hochofenschlacke. Ihre Zusammensetzung ist sehr heterogen. Die pH-Werte liegen zwischen 7,4 und 10,3. Zum Teil sind im Inneren noch Brandherde bzw. exotherme Reaktionen zu beobachten. Angaben zur Zusammensetzung der Schlacke sind in Tabelle 1 zusammengefaßt (nach KARASEK, 1980 und mündl. Mitt.).

Tabelle 1: Schlackenanalyse (aus KARASEK, 1980).

Schwefelsäure	0,22– 0,70 %
Calcium	0,15– 3,10 %
Phosphor	0,02– 0,16 %
Eisen	0,32–20,00 %
Kalk	5,30–28,90 %
Stickstoff	0,02– 0,42 %

Versuche zur Begrünung der Halden werden seit ca. 1948 durchgeführt. In jüngerer Zeit wird das Material nicht mehr mit Förderbändern, sondern mit Lkw transportiert. Es besteht die Möglichkeit, an der Oberfläche pflanzenverträgliche Substrate aufzubringen. Die

*) Publ. Nr. 55 der MAB-Projektgruppe Stadtökologie

Halden jüngeren Datums werden in Etagen aufgebaut und anschließend begrünt (KARASEK, 1980).

Für die vorliegenden Untersuchungen wurde ein Haldenbereich älterer Schüttung (vor 1942) ausgewählt. Die Rekultivierungsversuche erfolgten hier auf dem reinen Schlackensubstrat. Damit sind besonders extreme Bedingungen für das Überleben und Neuaufkommen von Pflanzen gegeben.

Das Ziel der Untersuchungen ist es, die Problematik dieses Extremstandortes hinsichtlich der ökologischen Faktoren und die ökophysiologischen Reaktionen der Pflanzen zu erfassen, um für die Praxis der Rekultivierung Vorschläge und Anregungen liefern zu können.

II. Material und Methoden

Der ausgewählte Haldenbereich befand sich in ca. 750 m Seehöhe. Er wurde in den Jahren 1930–1942 aufgeschüttet und im Zeitraum zwischen 1948 und 1960 ohne Aufbringung von Humusmaterial mit verschiedenen Holzarten bepflanzt (KARASEK, mündl. Mitt.).

Aus der Literatur (LUFTGÜTE UND WALD IN DER STEIERMARK, 1977) geht hervor, daß im Untersuchungsgebiet mit dem Auftreten beträchtlicher Immissionen zu rechnen ist.

Die Messungen wurden auf dem Haldenplateau, welches in Rücken und Senken gegliedert ist, durchgeführt. Der Meßplatz „Bestand" lag auf einem Rücken mit lockerem, ca. 3 m hohem Baumbestand (hauptsächlich Birken und Föhren). Der „Boden" war weitgehend moosbedeckt. Der Meßplatz „Bestandesfrei" war ca. 15 m vom Meßplatz „Bestand" entfernt; er lag auf einem Rücken mit weitgehend moosbedeckter Schlacke und vereinzelt stehenden Birken.

Zur Messung des Kleinklimas wurden am Standort „Bestand" sowie am Standort „Bestandesfrei" je eine Dauerregistrierung von kurzwelliger Strahlung (Sternpyranometer, Fa. SCHENK), langwelliger Strahlungsbilanz (Fa. SCHENK), Boden- und Lufttemperatur (Pt 100, Fa. SCHENK) sowie Bodenwärmestrom (Soil Heat Flux Disc, Fa. C. W. THORNTHWAITE Ass.) eingesetzt. Die relative Luftfeuchtigkeit wurde mit einem Thermohygrographen erfaßt. Die Menge der Bewölkung wurde geschätzt und in Zehntel angegeben. Die Messung der Saugspannung erfolgte mit Hilfe eines Geräts von SOIL MOISTURE Equ. nach dem Prinzip von SCHOLANDER (vgl. DUHME & RICHTER, 1977).

Zur Bestimmung der Bodensaugspannung kam ein Tensiometer (Fa. SOIL MOISTURE Equ.) zum Einsatz. Die Hitzeresistenzuntersuchungen wurden nach der von LANGE 1961 standardisierten Methode durchgeführt (ausführliche Beschreibung bei HAMMER, 1983). Die Proben wurden vom Meßplatz „Bestand" bzw. aus dem angrenzenden Wald (Vergleichsmaterial) geworben.

Für die Photosynthesemessungen wurde ein Binos (Fa. LEYBOLD-HERAEUS), für die Ermittlung der Diffusionswiderstände ein Porometer

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

(Fa. DELTA T) verwendet. Ergänzend wurden Transpirationsmessungen nach der Schnellwägemethode (STOCKER, 1929; RAWITSCHER, 1955) durchgeführt.

Alle Stundenangaben verstehen sich als Sommerzeit, d. h. sie gehen der „Sonnenzeit" = Mitteleuropäische Zeit um eine Stunde voraus.

III. Ergebnisse

Die Meßperiode lag in einer Phase wechselhaften Wetters. Beide Meßtage besaßen nicht den Charakter von Modelltagen, sondern zeigten stark wechselnde Bewölkung (vgl. Abb. 6) mit kurzfristigen Regenschauern (am 19. Juli 1983: jeweils kurze Regengüsse zwischen 13 und 14 Uhr sowie um 16 Uhr und nach 17 Uhr; am 20. Juli 1983: heftiger Gewitterregen um 12 Uhr). Die relative Luftfeuchtigkeit (Abb. 2) schwankte zwischen einem Minimum von 23 % am 19. Juli 1983 und einem Maximum von 100 % während der Nacht.

Strahlung (Abb. 1): Der Maximalwert der Globalstrahlung (in 3 m Höhe) wurde am frühen Nachmittag des ersten Meßtages erreicht; er lag bei ca. 1000 $W.m^{-2}$. Auch am zweiten Meßtag war nach dem Gewitterregen (12 Uhr) noch ein Maximum von ca. 950 $W.m^{-2}$ zu beobachten. Die Werte der Reflexion waren in 1 m Höhe über dem „bestandesfreien" Areal fast doppelt so hoch wie jene in 1 m Höhe „Bestand" und immer noch geringfügig höher als die Reflexion in 3 m Höhe „Bestand"

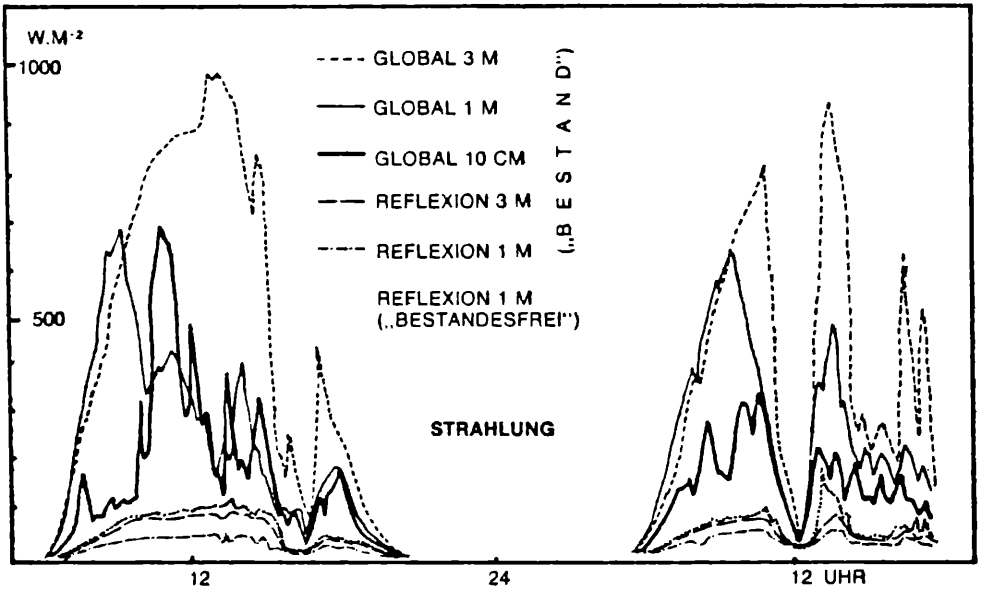

Abb. 1: Kurzwellige Strahlung am 19./20. Juli 1983.

Temperatur (Abb. 2, 3): In 3 m Höhe über dem Bestand erreichte die Lufttemperatur am ersten Meßtag ein Maximum von 35° C. Dieser Wert wurde (nach einer Abkühlung auf ein Minimum von 13° C um 6 Uhr) am zweiten Meßtag nicht mehr erreicht. Die beiden Temperaturfühler in 1 m und 10 cm zeigten einen relativ ähnlichen Temperaturgang mit einem Maximum am ersten Meßtag (38° C), einem morgendlichen Minimum von 13° C (um 6 Uhr) und einem Maximum am zweiten Meßtag von lediglich 33° C. Mit zunehmender Bodentiefe (0/–10/–30/–50 cm) sanken sowohl die Temperaturwerte als auch die Amplituden ab, wobei jedoch der Fühler in –50 cm beträchtliche Schwankungen (zwischen 15 und 18° C) registrierte.

Im „bestandesfreien" Untersuchungsareal war für den Fühler in 10 cm Höhe (Lufttemperatur) kein wesentlicher Unterschied zu demjenigen im „Bestand" festzustellen. Bereits an der Bodenoberfläche (0 cm; Fühler im Moospolster) änderte sich dies drastisch: während im „Bestand" ein Maximum von 28° C und ein Minimum von 18° C, somit eine Amplitude von 10° C beobachtet werden konnten, lagen beim Fühler im „bestandesfreien" Areal das Maximum weit über 40° C, das Minimum bei 14° C, was eine Tag/Nachtschwankung von weit mehr als 30° C ergab. Die höchste gemessene Temperatur, nämlich 54° C, und die größte Amplitude, nämlich 35° C, konnten bei jenem Temperaturfühler beobachtet werden, der nur oberflächlich von Schlackenmaterial bedeckt war (0 cm). Dagegen lag die Minimaltemperatur der offenen Schlacke merkwürdigerweise auch nachts etwa 5° C über derjenigen der moosbedeckten Schlacke. Diese krassen Temperaturgegensätze waren in –10 cm bereits gemildert. Immerhin lag die Amplitude von 12° C (Maximum 31° C, Minimum 19° C) noch beträchtlich über derjenigen in –10 cm Tiefe „Bestand" (5° C bei einem Maximum von 23° C und einem Minimum von 18° C).

Die Bodenbilanz (Abb. 4) der „bestandesfreien" Fläche lag bei Tag wesentlich höher und bei Nacht beträchtlich tiefer (etwa um den doppelten Wert) als jene im „Bestand". Auch hier ist eine Diskrepanz hervorzuheben: während das Maximum der Einstrahlung am ersten Tag um etwa 13 Uhr erreicht wurde, war die maximale positive Bodenbilanz mit einem Pik von 130 $J.cm^{-2}.min^{-1}$ (ca. 15.30 Uhr) um fast zwei Stunden verschoben. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, daß sich der Boden nach dem mittäglichen Regen (nach 13 Uhr) abkühlt; die anschließende Sonneneinstrahlung heizt die obere Bodenschicht rasch auf, so daß es zu einem massiven Wärmestrom in die noch kühleren tieferen Bodenschichten kommt.

Die langwellige Strahlungsbilanz (0,4–50 µm; Abb. 5) der beiden untersuchten Flächen zeigte nur wenig Unterschiede. Die Bilanz der „bestandesfreien" Fläche lag jedoch wegen der höheren Reflexion geringfügig (ca. 50 $W.m^{-2}$) unter derjenigen des „Bestandes".

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

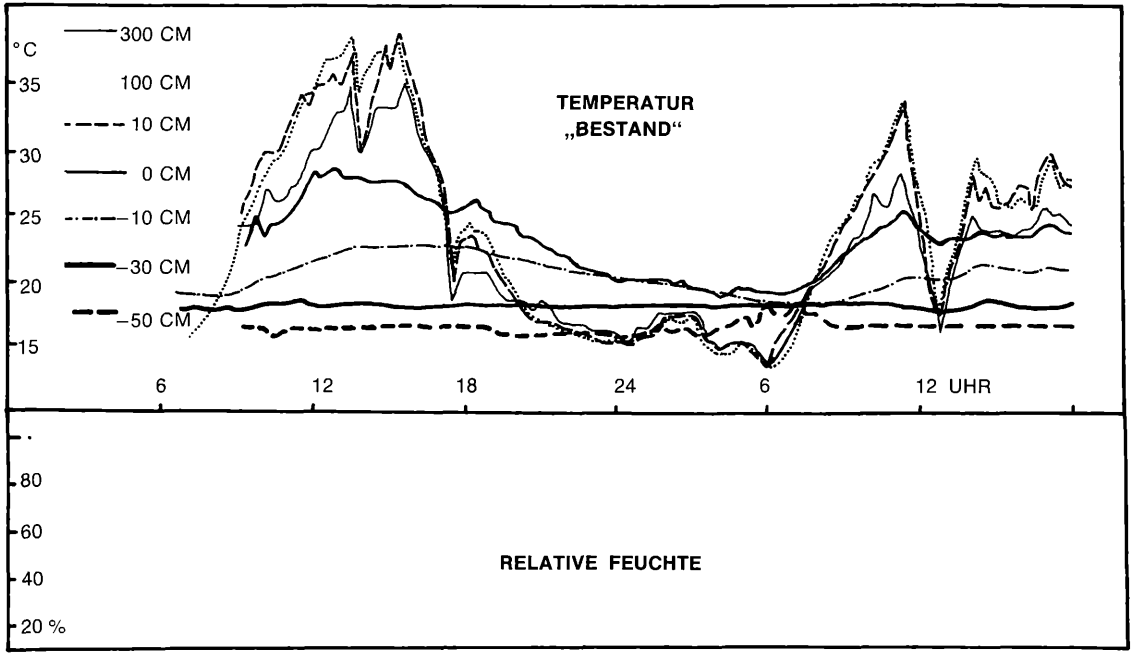

Abb. 2: Temperatur und relative Luftfeuchtigkeit am 19./20. Juli 1983.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

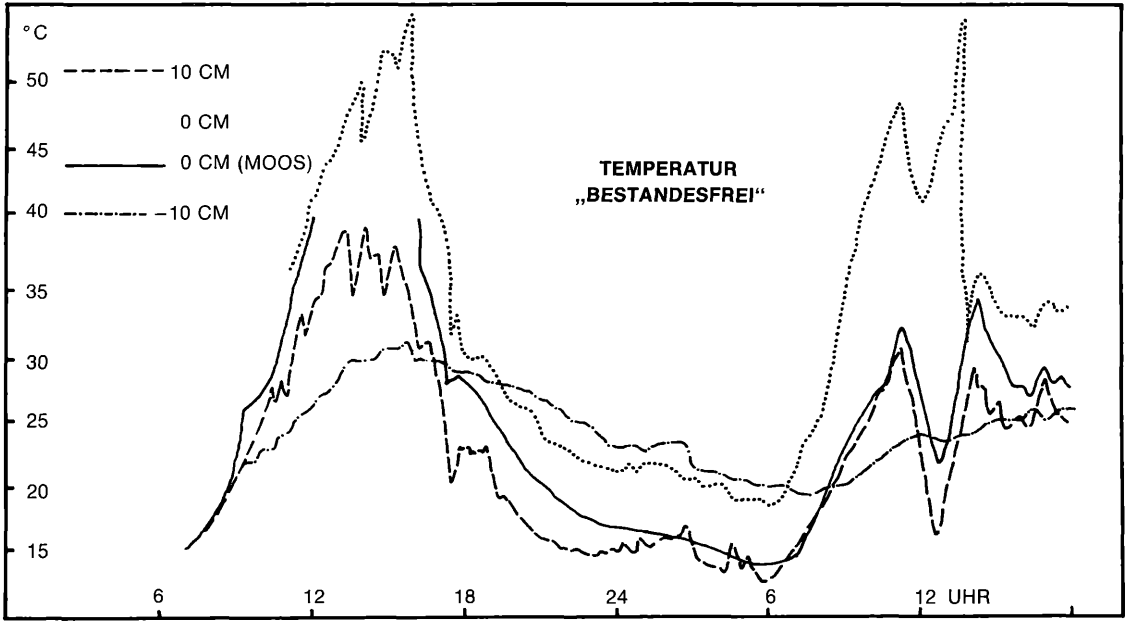

Abb. 3: Temperatur am 19./20. Juli 1983.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

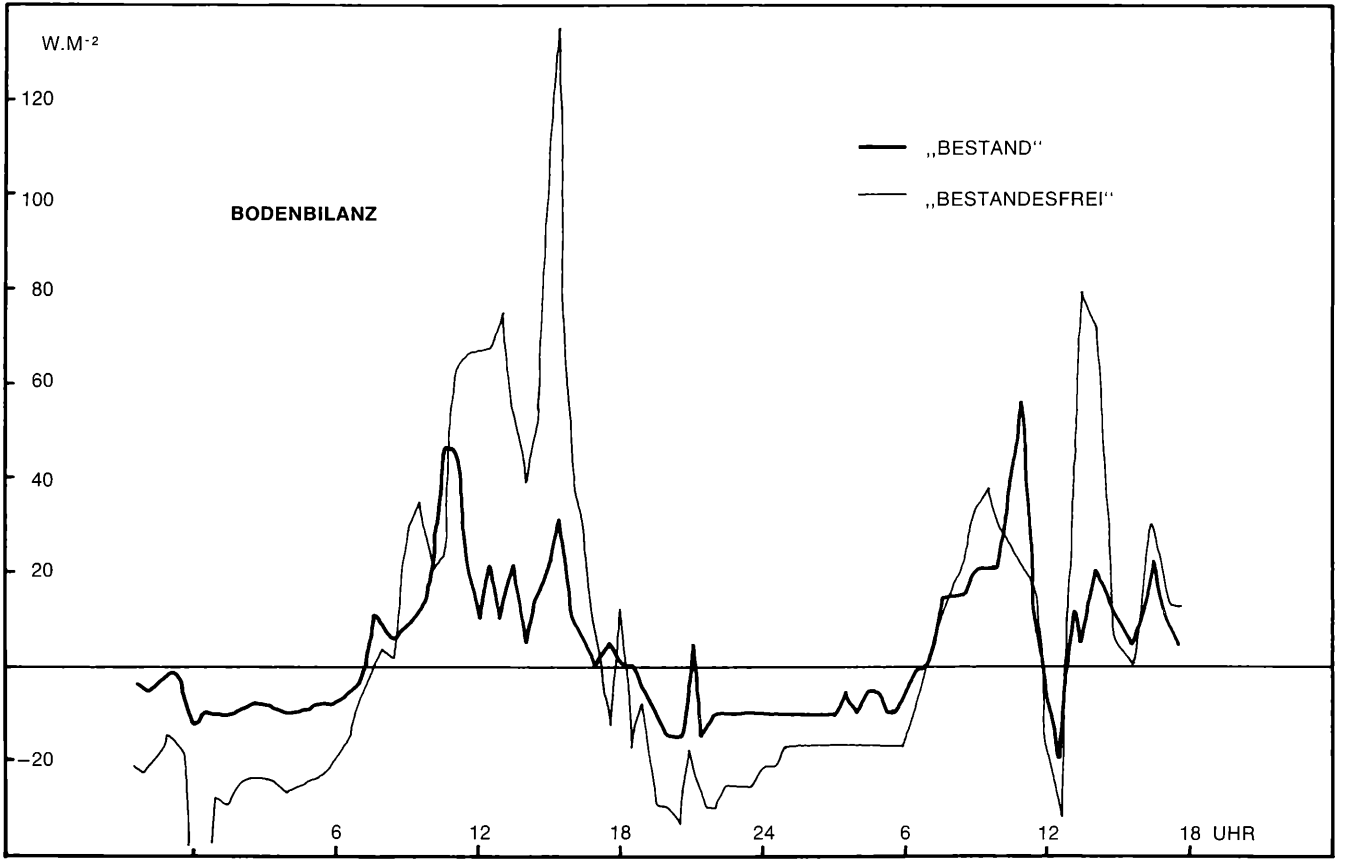

Abb. 4: Bodenwärmestrom am 19./20. Juli 1983. Fühler in — 1 cm.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

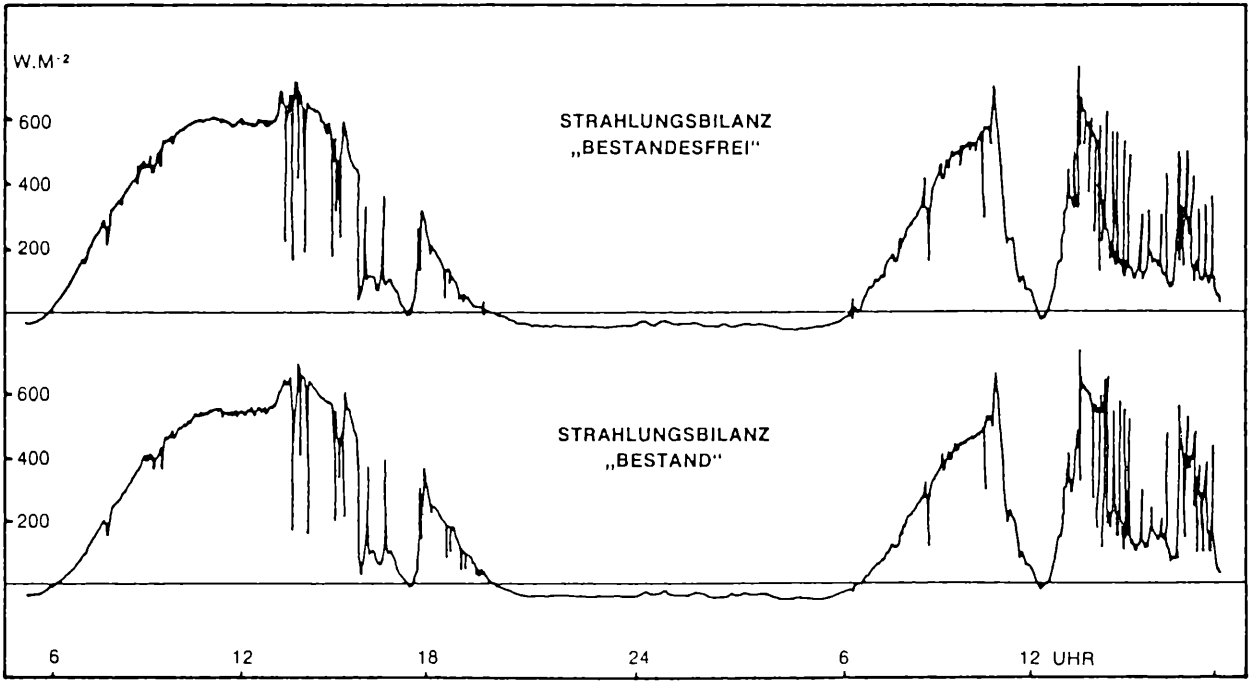

Abb. 5: Langwellige Strahlungsbilanz am 19./20. Juli 1983. Fühler in 3 m Höhe.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Saugspannung (Abb. 6): Die höchste Saugspannung der Birke wurde am Vormittag des 19. Juli 1983 mit knapp –9 bar erreicht und nahm im Laufe des Tages mehr oder weniger kontinuierlich ab. Während die anfänglichen Saugspannungswerte der Weide in einem ähnlichen Bereich lagen, reagierte diese auf den mittäglichen „Wettersturz" mit einer drastischen Erhöhung der Saugspannung, um sich nachmittags wieder in

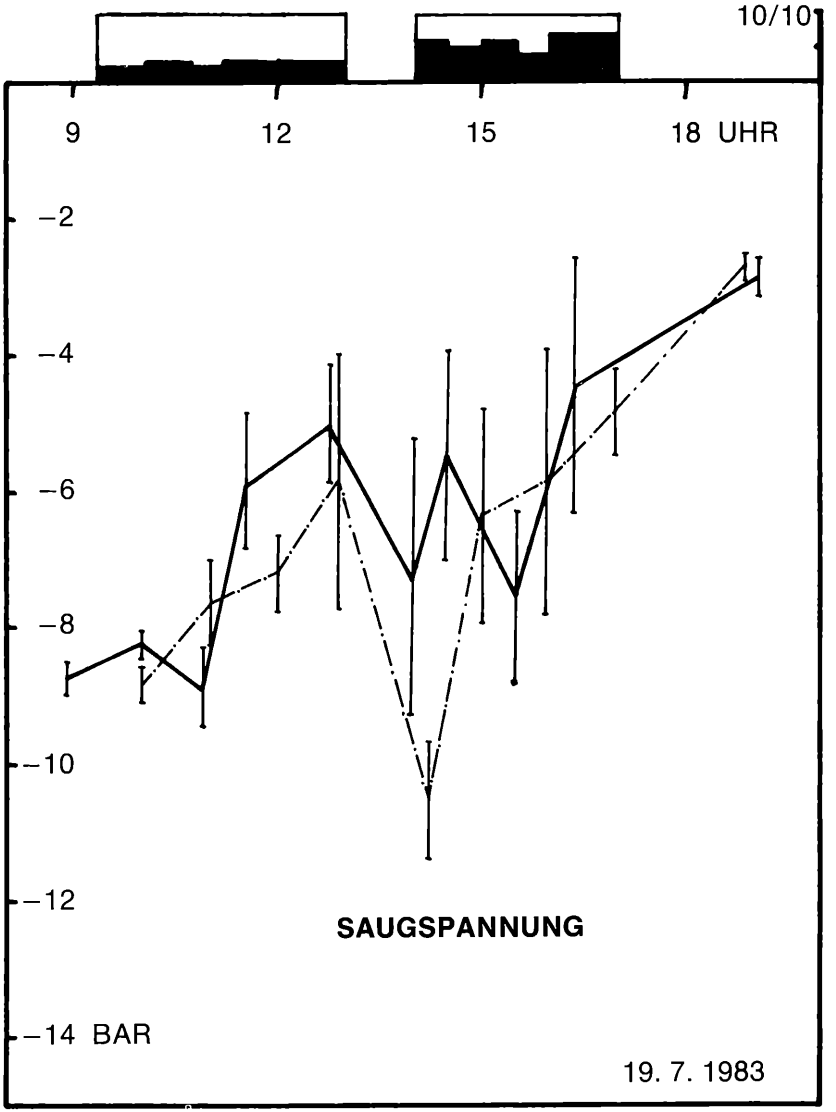

Abb. 6 (Legende S. 152).

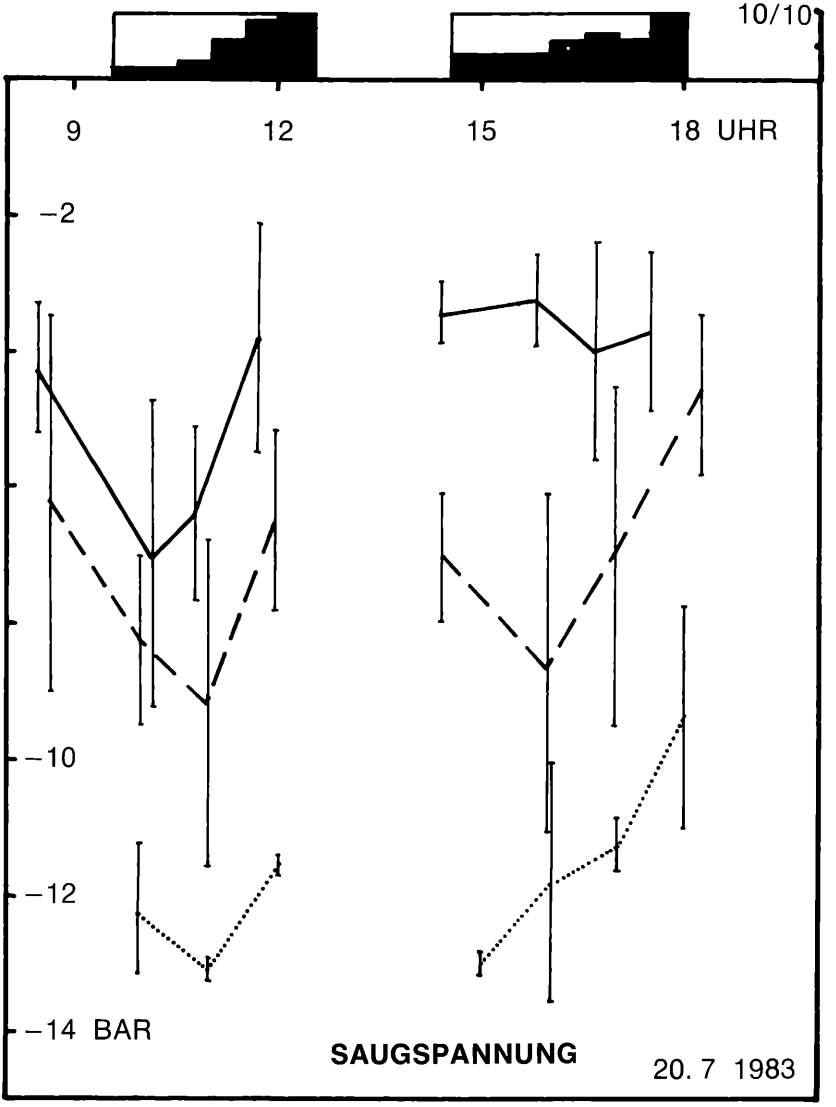

Abb. 6: Tagesgänge der Bewölkungsmenge (in Zehntel) und der Saugspannung. 19. Juli 1983: Birke „Bestand" (———), Weide „Bestand" (–·–·–). 20. Juli 1983: Liguster „Bestand" (. .), Birke „Bestand" (———), Birke „Bestandesfrei" (– – – –). Angegeben ist die Standardabweichung aus drei Messungen.

einen niedrigeren Bereich (ähnlich der Birke) einzupendeln. Liguster schien demgegenüber imstande zu sein, eine wesentlich höhere Saugspannung aufzubauen (–13 bar); diese nahm im Laufe des Nachmittags (20. Juli 1983) allmählich ab. Ebenfalls am 20. Juli 1983 wurde die

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Saugspannung von Birken verschiedener Standorte („Bestand" und „Bestandesfrei") getrennt untersucht. Trotz der hohen Schwankungen zeigte sich ein signifikanter Unterschied: Die Saugspannung der Birke „Bestandesfrei" war wesentlich größer als diejenige der Birke „Bestand" Die Ergebnisse der Transpirations- und Gaswechselmessungen sollen erst in Zusammenschau mit weiteren Untersuchungen widergegeben werden. Der Bodenwassergehalt war im Untersuchungszeitraum relativ hoch; die Bodensaugspannung lag zwischen –0,15 und –0,45 bar. Auch die Werte der Hitzeresistenz (Föhre „Bestand": 46° C; Birke „Bestand": 49° C; Birke „Wald": 47/48° C) bedürfen einer Ergänzung durch weitere Untersuchungen.

Wurzelprofile (Abb. 7): Die Wurzeltracht zeigt, wie schon von KARASEK 1980 beobachtet, stets das gleiche Bild: nämlich eine oberflächliche Durchdringung des Bodens, die selten tiefer als 15–20 cm reicht. Beispielsweise sei auf *Echium*/Natternkopf (Abb. 7 e) hingewiesen, welches ansonsten nach Angaben von KUTSCHERA (1960) durch die Ausbildung einer tiefreichenden Pfahlwurzel grundwasserfeuchten Schichten zustrebt und Tiefen bis zu 250 cm erreichen kann.

Die Gründe für eine derartige Wurzelentwicklung sind fraglos vielschichtig. Zunächst sind es rein mechanische Probleme, denn in einer Tiefe von ca. 20 cm konnte eine starke mechanische Verfestigung des Schlackenmaterials beobachtet werden, wobei noch nicht geklärt werden konnte, inwieweit die gewöhnliche „Setzung" des Materials oder auch etwaige physikochemische Reaktionen der Schlacke (vgl. KARASEK, 1980) dafür verantwortlich sind. Weiters können Faktoren wie das Ausmaß der Temperatur- und Feuchtigkeitsschwankungen (LICHTENEGGER, 1983), der Schwermetallgehalt des Bodens (ERNST, 1982) sowie vor allem das Wasserregime – etwa das Abfangen des Regenwassers im oberflächennahen Bodenraum – eine Rolle spielen.

Artenliste (Tab. 2): Um eine grobe Orientierung für die Bewertung des Standortes hinsichtlich der ökologischen Bedingungen zu erlangen, wurden die Zeigerwerte jeweils gemittelt und dieses Mittel sowie das Intervall (in Klammer) angegeben:

Die Lichtzahl 6,8 (Werte zwischen 4 und 9) steht für „Halblichtpflanzen, meist bei vollem Licht"; bemerkenswert ist das mehrfache Vorkommen von Pflanzen mit Lichtzahl 4, die wahrscheinlich im Schatten von Bäumen und Sträuchern wachsen.

Die Temperaturzahl 6,1 (5–8) entspricht mit den Angaben „Mäßigwärme-/Wärmezeiger" den Erwartungen.

Die Kontinentalitätszahl 4,0 (3–7) bedeutet nach ELLENBERG „subozeanisch, Schwergewicht Mitteleuropa" und entspricht ebenfalls den Erwartungen.

Die Feuchtezahl 4,1 (3–7) liegt zwischen den Zahlen für Trocknis- und Frischezeiger. Es kann angenommen werden, daß sehr lokal (Schatten, Humusauflage, Senken) günstigere Feuchtigkeitsbedingungen auftreten (vgl. auch Stickstoffzahl).

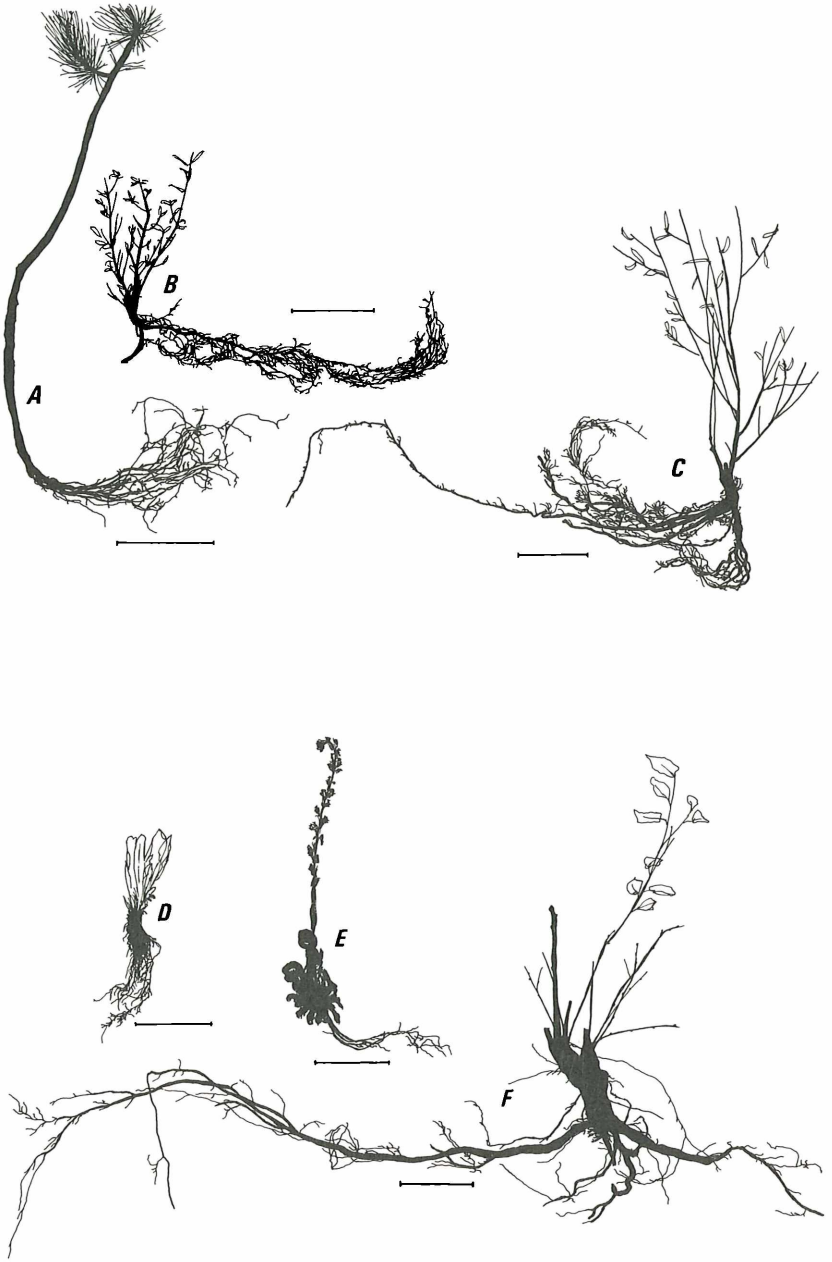

Abb. 7: Darstellung der Wurzelprofile von Föhre *(Pinus,* A), Liguster *(Ligustrum,* B), Weide *(Salix,* C), Löwenzahn *(Leontodon,* D), Natternkopf *(Echium,* E), Birke *(Betula,* F). Der jeweils angegebene Maßstab entspricht 10 cm.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Tabelle 2: Artenliste der Gefäßpflanzen (Namen nach EHRENDORFER, 1973, ökologische Zeigerwerte nach ELLENBERG, 1982). Die Pflanzen wurden in einem Radius von 50 m um den Meßplatz aufgenommen.

	L	T	K	F	R	N	Lebensform
Achillea L. sp.							
Acer negundo L.							
Acer platanoides L.	4	6	4	x		x	P
Acer pseudoplatanus L.	4	x	4	6		7	P
Alyssum L. sp.							
Arenaria L. *serpyllifolia* agg.	8	5	x	4		x	T, C
Artemisia vulgaris L.	7	x	x	6		8	C, H
Betula pendula ROTH.	7	x	x	x		x	P
Calamagrostis epigeios (L.) ROTH.	7	5	7	x		6	G, H
Carpinus betulus L.	4	6	4	x		x	P
Cerastium cf. *glutinosum* FRIES							
Clematis vitalba L.	7	7	3	5	7	7	N, P li
Diplotaxis tenuifolia (L.) DC.	8	7	3	3	x	4	C, H
Echinops sphaerocephalus L.	8	8	6	4	8	7	H
Echium vulgare L.	9	7	3	3	x	4	H
Epipactis atrorubens (HOFFM.) SCHULT.	6	x	3	3	8	2	G
Erigeron L. sp.							
Eupatorium cannabinum L.	7	5	3	7	7	8	H
Fragaria L. sp.							
Fraxinus excelsior L.	4	5	3	x	7	7	P
Hieracium cf. *pilosella* L.	7	x	3	4	x	2	H
Larix MILL. sp.							
Leontodon cf. *hispidus* L.	8	x	3	4	x	3	H
Ligustrum vulgare L.	7	6	3	x	8	x	N
Melilotus officinalis (L.) PALL.	8	5	6	3	8	x	H
Oenothera L. *biennis* agg.	9	7	3	3	x	4	H
Pastinaca sativa L.	8	6	5	4	8	5	H
Picea A. DIETR. sp.							
Pinus L. sp.							
Quercus robur L.	7	6	x	x	x	x	P
Reseda lutea L.	7	6	3	3	8	4	H
Salix L. sp.							
Sanguisorba minor SCOP.	7	6	5	3	8	2	H
Scabiosa ochroleuca L.	8	7	6	3	8	3	H
Solidago virgaurea L.	5	x	x	5	x	5	H

Die Reaktionszahl 7,7 (7–8) „meist auf Kalk weisend" entspricht völlig den Erwartungen (vgl. Bodenanalysen Tab. 1).

Die durchschnittliche Stickstoffzahl 4,9 (2–8) würde auf mäßig stickstoffreiche Standorte hinweisen; das große Intervall zwischen den Zeigerwerten der verschiedenen Pflanzen könnte bedeuten, daß lokale kleinräumige Humusanreicherungen, in denen offenbar sogar stickstoffliebende Pflanzen aufkommen können, der Grund dafür sind.

An Lebensformentypen dominieren die Hemikryptophyten und Phanerophyten (letztere zum Teil gesetzt).

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Das Moos, welches die Schlacke großflächig bedeckt, ist *Tortula inermis* Mont. (= *Syntrichia inermis);* es gehört zu einer xerophytischen Moosgattung mit hoher Austrocknungs- und Temperaturresistenz.

IV. Besprechung der Ergebnisse

Die Auswertung des umfangreichen kleinklimatischen Datenmaterials ergab einige Besonderheiten, die zum Teil eine Konsequenz der extremen Bedingungen am untersuchten Standort sind. Der fehlende Modellcharakter der Meßtage sowie die durch das Untersuchungsprogramm vorgegebene Beschränkung bedingen ebenfalls eine Reihe noch offener Fragen.

Zu den ungeklärten Phänomenen zählen die nächtlichen Temperaturschwankungen des Fühlers in –50 cm Tiefe. Allenfalls ist ein Einfluß der bei Karasek 1980 beschriebenen Brandherde bzw. exothermen Reaktionen nicht auszuschließen. An der Schlackenoberfläche im „bestandesfreien" Areal wurde ein Maximalwert von 54° C (vgl. Karasek, 1980) erreicht und eine Tag/Nachtschwankung von 35° C beobachtet. Auf Grund der beschriebenen Wettersituation ist jedoch mit dem Auftreten höherer Temperaturen bzw. Amplituden zu rechnen. Im „Bestand" wurde ein Maximum von 28° C und eine Amplitude von 10° C registriert. Bereits dieser durchaus lockere Bestand bewirkt eine Minderung der extremen Temperaturschwankungen. Auch erreicht die Reflexion in 1 m Höhe „Bestand" nur etwa den halben Wert derjenigen über der „bestandesfreien" Fläche. Interessant ist die Tatsache, daß in der Nacht das offene Schlackenmaterial oberflächlich um 5° C wärmer ist als die moosbedeckte Schlacke.

Obwohl der fehlende Modellcharakter der Untersuchungstage fraglos die Interpretation physiologischer Parameter erschwert, lassen sich offensichtlich unterschiedliche Strategien des pflanzlichen Saugspannungsverhaltens ableiten. Von den untersuchten Pflanzen wurden bei Liguster die höchsten Saugspannungswerte gemessen, welche vereinzelt den vierfachen Wert der am selben Tag untersuchten Birken erreichten. Die zum Teil signifikant unterschiedlichen Saugspannungswerte der Birken im „Bestand" und „bestandesfreien" Areal dokumentieren den unterschiedlichen ökologischen Charakter der beiden Standorte. Bemerkenswert erscheint auch das Saugspannungsverhalten der Weide: im Gegensatz zur Birke reagiert sie auf einen mittäglichen Regenschauer mit einer kurzfristigen signifikanten Erhöhung der Saugspannung.

Im Anschluß an die hier dargelegten Ergebnisse sind folgende Untersuchungen geplant:

- Zur Klärung der noch offenen Fragen aus den Ergebnissen der Kleinklimamessungen können sowohl weitere Meßdaten vom Standort als auch Modellexperimente im Labor beitragen.
- Um eine sichere Interpretation physiologischer Werte zu ermöglichen, sind weitere Messungen an Modelltagen notwendig.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

- Insbesondere wäre eine Erfassung der kritischen Phase im Spätfrühling (hohe Einstrahlung, geringe Bodenfeuchte – KARASEK, mündl. Mitt.) wünschenswert.
- Die Strategien des pflanzlichen Wasserhaushalts wären für die untersuchten Pflanzen zu verifizieren sowie mit denjenigen anderer Pflanzen am Standort zu vergleichen.
- Die zum Teil breite Streuung der ökologischen Zeigerwerte der aufgenommenen Pflanzen läßt auf ein Mosaik von Kleinstandorten schließen. Es ist daher notwendig, eine exakte Aufnahme der Pflanzen zur Differenzierung dieser Standorte zu erstellen.
- Laborversuche können zur Abschätzung der Bedeutung von Schwermetallgehalten, Nährstoffzufuhr, Wasserangebot, bodendeckender Vegetation u. a. für eine billige und effiziente Rekultivierung von Schlackenhalden beitragen.

V. Zusammenfassung

Auf einer rekultivierten Schlackenhalde im Raum Leoben/Donawitz wurden kleinklimatische und ökophysiologische Messungen durchgeführt.

Die Daten von Temperatur, Strahlung, Strahlungsbilanz, Bodenwärmestrom usw. dokumentieren die extremen Bedingungen von Schlackenmaterial ohne Vegetationsdecke. Es konnte gezeigt werden, daß diese extremen Bedingungen durch einen lockeren Baumbestand / eine Moosdecke gemildert werden. Die Ergebnisse der Saugspannungsmessungen weisen sowohl auf kleinräumige ökologische Standortsunterschiede als auch auf Unterschiede im Wasserhaushalt verschiedener Pflanzen hin.

Ein Programm für weiterführende Untersuchungen wird dargelegt.

Literatur

BARNER, J. (1978): Rekultivierung zerstörter Landschaften. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

BRADSHAW, A. D., CHADWICK, M. J. (1980): The Restoration of Land. Blackwell Scientific Publications, Oxford.

DUHME, F., RICHTER, H. (1977): Druckkammermethode. In: K. KREEB: Methoden der Pflanzenökologie, VEB Gustav Fischer Verlag, Jena, 136–142.

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. Fischer Verlag, Stuttgart.

ELLENBERG, H. (1982): Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.

EMSCHERBRUCH(1975): Modellversuch einer Landschaftsveränderung. Siedlungsverband Ruhrkohlenbezirk, Essen.

ERNST, W. (1982): Schwermetallpflanzen. In: H. KINZEL: Pflanzenökologie und Mineralstoffwechsel. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 472–506.

HAMMER, O. (1983): Zur Frage der energetischen Kosten von Resistenzerhöhungen bei Pflanzen. Diss. Univ. Wien.

JOCHIMSEN, M. (1982): Untersuchungen zur Frage der natürlichen Sukzession auf Bergehalden. Internationale Haldenfachtagung, Essen, Kommunalverband Ruhrgebiet.

JOHNSON, M. S., MCNEILLY, T., PUTWAIN, P. D. (1977): Revegetation of metalliferous mine spoil contaminated by lead and zinc. Environ. Pollut., *12*, 261–277.

KARASEK, S. (1980): Haldenrekultivierungen im Rauchschadensgebiet Leoben – Donawitz. Mitteilungen der forstlichen Bundes-Versuchsanstalt Wien, *131*, 113–123.

KUTSCHERA, L. (1960): Wurzelatlas. DLG-Verlag, Frankfurt/M.

LANGE, O. L. (1961): Die Hitzeresistenz einheimischer immer- und wintergrüner Pflanzen im Jahresablauf. Planta (Berl.), *56*, 666–683.

LARSON, M. M., VIMMERSTEDT, J. P. (1983): Evaluation of 30-Year-Old Plantations on Stripmined Land in East Central Ohio. The Ohio State University, Wooster (Ohio), Research Bulletin 1149.

LICHTENEGGER, E. (1983): Wurzel- und Bodentyp als Ausdruck des Standortes. In: Wurzelökologie und ihre Nutzanwendung, Int. Symp. Gumpenstein (Irdning): 369–388.

LUFTGÜTE UND WALD IN DER STEIERMARK (1977). Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Graz.

MAIER, R., PUNZ, W., SIEGHARDT, H., DOMSCHITZ, E., NAGL, A., WIENER, S., KULHANEK, A., MÜHLEBNER, W. (1981): Zur Ökologie einiger Pflanzen auf den schwermetallhaltigen Halden in Bleiberg/Kärnten. Carinthia II., *171./91.*, 201–222.

RAWITSCHER, F. (1955): Beobachtungen zur Methodik der Transpirationsmessungen bei Pflanzen. Ber. Dt. Bot. Ges., *58 (8)*, 287–296.

SCHMEISKY, H. (1982): Begrünungsversuche auf Abraumhalden im nordhessischen Braunkohlenbergbaugebiet. Braunkohle *7*, 219–224.

SCHLÜTER, U. (1980): Landschaftsbaumaßnahmen zur Rekultivierung von Deponien. In: BUCHWALD, K., ENGELHARDT, W. (Hrsg.): Handbuch für Planung, Gestaltung und Schutz der Umwelt, Bd. 3: Die Bewertung und Planung der Umwelt. BLV München, 666–672.

STOCKER, O. (1929): Das Wasserdefizit von Gefäßpflanzen in verschiedenen Klimazonen. Planta *7*, 382–387.

UHLMANN, D. (1977): Möglichkeiten und Grenzen einer Regenerierung geschädigter Ökosysteme. Sitzungsberichte der sächsischen Akademie der Wissenschaften zu Leipzig, Math.-naturw. Kl., *112 (5)*, 1–50.

Abstract

Microclimatic and ecophysiological parameters were investigated on a recultivated slag-heap in the area Leoben/Donawitz. The extreme situation of uncovered slag material is shown by measurements of temperature, radiation, radiation balance, soil heat flux etc. These extremes are buffered by mosses and wooden plants growing on this surface.

©Akademie d. Wissenschaften Wien; download unter www.biologiezentrum.at

Plant water potential measurements, root profiles and ecological significance of occuring plants are discussed.

A program for further investigations is proposed.

Danksagung

Für die Erlaubnis zur Durchführung der Messungen auf den Halden sowie für die gastliche Aufnahme danken wir der VOEST-Alpine AG.

Unser besonderer Dank gilt Herrn OFM Dipl.-Ing. SIEGFRIED KARASEK für sein liebenswürdiges Entgegenkommen, für seine fachlichen Informationen, Ratschläge und Anregungen sowie die Bereitschaft, uns seine Zeit zu opfern.

Für die Unterstützung bei der Erstellung der Pflanzenliste danken wir Univ.-Doz. Dr. ROLAND ALBERT, Univ.-Ass. Dr. MICHAEL GRÜNWEIS, Dr. PETER ENGELMAIER und HARALD ZECHMEISTER.

Für die Einführung in die Methodik der Hitzeresistenzbestimmung danken wir Dr. OSWALD HAMMER.

Herrn Univ.-Prof. Dr. KARL BURIAN danken wir für die freundliche Unterstützung und die Durchsicht des Manuskriptes. Für die finanzielle Unterstützung sind wir der Österreichischen Akademie der Wissenschaften und dem Magistrat der Gemeinde Wien zu Dank verpflichtet.

Anschrift der Verfasser: Institut für Pflanzenphysiologie der Universität Wien, Althanstraße 14, A-1091 Wien.